4. Reth M. / Hydrogen peroxide as second messenger in lymphocyte activation / M. Reth // Nature Immunol. – 2002. – Vol. 3. – P. 1129-1134.
5. Модуляция программируемой гибели лимфоцитов периферической крови при хронической вирусной инфекции / О.Б. Жукова, Н. В. Рязанцева, В. В. Новицкий, Т. Т. Радзивил, Л. С. Литвинова, Н. Ю. Часовских // Цитология. – 2007. – Т. 49, № 1. – С. 26-31.
6. Стимуляция репарации ДНК растворимыми факторами фотомодифицированной крови в клетках человека, поврежденных УФ- и ионизирующей радиацией / О.И. Зубанова, С.А. Снопов, В.М. Михельсон, К.А. Самойлова // Цитология. – 2002. – Т. 44, № 5. – С. 463-469.
7. Клеточные механизмы прайминга и активации фагоцитов // Клебанов Г.И., Владимиров Ю.А. // Успехи совр. биол. – 1999. – Т. 119, № 5. – С. 462-475.
8. Modulation of protein kinase activity and gene expression by reactive oxygen species and their role in vascular physiology and pathophysiology / N. Griendling [et al.] Griendling K.K., Sorescu D., Lassegue B., Ushio-Fukai M. // Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology. – 2000. – Vol. 20. – P. 2175-2185.
9. Повышение ростостимулирующей активности крови человека после облучения / Богачева О.Н., Самойлова К.А., Жеваго Н.А., Оболенская К.Д., Блинова М.И., Калмыкова Н.В., Кузьминых Е.В. // Цитология. – 2004. – Т. 46, № 2. – С. 159-171.

Козлов В.А.¹, Плещечник М.А.²

Разрушение ископаемой древесины в анаэробных условиях

¹*Институт леса Карельского научного центра РАН
(Россия, Петрозаводск)*

²*Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН
(Россия, Красноярск)*

doi: 10.18411/sr-10-12-2017-70

idsp: 000001:sr-10-12-2017-70

Аннотация

Исследованы изменения в структуре ископаемой (археологической) древесины (XIV-XIX вв.) после длительной экспозиции в анаэробных условиях. Показано, что разрушение вторичных оболочек клеточных стенок трахеид наблюдается в заболонной древесине после 100-летней, а в ядровой - после 600-летней экспозиции. Отмечается, что в образцах присутствуют повреждения, вызываемые дереворазрушающими грибами.

Ключевые слова: археологическая древесина, сосна обыкновенная, бактерии, дереворазрушающие грибы, анаэробные условия

Abstract

Changes in the structure of fossil (archaeological) wood (XIV-XIX cc.) after a long exposure in anaerobic conditions are investigated. It is shown that the destruction of the secondary cell walls is observed in sapwood after 100 years and in heartwood after 600 years of exposure. It is noted that in the samples the damages caused by wood-destroying fungi were observed.

Keywords: Scots pine, bacteria, wood-destroying fungi, anaerobic service conditions.

Древесина – традиционный строительный материал, из которого возводились дома, храмы, плотины и причалы. Большое количество исторических домов в Венеции (Италия), Архангельске и Санкт-Петербурге (Россия), Амстердаме и Роттердаме (Нидерланды), Берлине, Гамбурге, Бремене и Лейпциге (Германия), а также в Лондоне (Великобритания) стоят на свайных фундаментах, долговечность которых доказана временем. Однако в последнее время вследствие изменения уровня грунтовых вод количество разрушений таких фундаментов в Европе выросло [1].

Исследования показали, что при длительной экспозиции в анаэробных условиях происходят изменения в структуре древесины, связанные с разрушением вторичных оболочек клеточных стенок [2, 3], что, как следствие, приводит к утрате прочностных свойств [4, 5]. В конце 1990-х гг. было доказано, что гидролиз гемицеллюлоз, а на более

поздних стадиях – целлюлоз клеточных стенок древесины вызывается эрозийными бактериями [6].

Разрушение ископаемой древесины также вызывается бактериями [2, 3, 4]. Археологические находки позволяют исследовать изменения, происходящие в структуре древесины при длительной – до нескольких тысяч лет выдержке во влажных анаэробных условиях.

Целью данного исследования является изучение изменений, произошедших в структуре древесины сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* (L.) после экспозиции в грунте в течение 100-600 лет.

Образцы и методы.

Исследовались образцы, извлеченные из грунта при археологических раскопках в г. Великий Новгород. Хорошая сохранность образцов позволила определить их абсолютный возраст, который, по данным дендрохронологического анализа, варьировал от XIV до XIX вв.

В лаборатории образцы вымачивались в течение часа в дистиллированной воде. Для исследования использовали часть заболони и ядра. Срезы древесины проводили на Микротоме санном электронном MSE. Срезы помещали на двухсторонний проводящий углеродный скотч, высушивали в сушильном шкафу с вентиляцией, и затем анализировали методом световой микроскопии с помощью сканирующего электронного микроскопа Hitachi TM-1000 при увеличении от $\times 30$ до $\times 2000$.

Результаты и обсуждение.

Исследование показало, что длительная (в течение нескольких столетий) выдержка в анаэробных условиях привела к значительному изменению структуры древесины сосны обыкновенной. При этом различия наблюдались не только между отдельными образцами, но и внутри самих образцов. Заболонь была разрушена в большей степени.

Общим индикатором разрушения для всех образцов было разложение вторичной оболочки клеточной стенки, в основном слоя S2, особенно хорошо заметное в поздней древесине. Наблюдалось значительное разрушение вторичной оболочки и отделение S2 от срединной пластинки, по всей видимости, более устойчивой к разрушению.

Ядровая часть образцов, датируемых XIX и XVI вв., в большей степени сохранила свою структуру. На поперечном срезе наблюдаются незначительные разрывы в клеточных стенках. В заболонной части клеточные стенки истончены и наряду с разрывами клеточных стенок видны небольшие отслоения клеточных стенок трахеид (Рисунок 1).

Рисунок 1. Разрушение клеточных стенок археологической древесины после 100 лет экспозиции в почве. А – ядро, Б- заболонь. Поперечный срез, увел. 250.

При более длительной экспозиции разрушения более существенны. Так, в образцах, датируемых XIV в., значительная деструкция клеточных оболочек наблюдается как в ядровой, так и в заболонной древесине. Клетки ядра и заболони значительно

деформированы, вторичные оболочки клеточных стенок трахеид разрушены, отмечается расслоение рядов трахеид (Рисунок 2). Наряду с разрушением целлюлозного комплекса отмечается деградация лигнина.

Рисунок 2. Разрушение клеточных стенок археологической древесины после 600 лет экспозиции в почве. А – ядро, Б- заболонь. Поперечный срез, увел. 250.

Проведенное исследование выявило, что в разрушении ископаемой древесины принимают участие и грибы-ксилотрофы (Рисунок 3). В то же время достаточно трудно установить время разрушения, которое могло иметь место во время эксплуатации артефакта, а не во время его экспозиции в грунте.

Полученные данные согласуются с результатами, полученными другими исследователями [2, 3, 7]. Можно сделать вывод о том, что при всем многообразии ископаемых образцов и условий их экспозиции, разрушение древесины различных хвойных пород происходит сходным образом.

В анаэробных условиях бактериями разрушаются вторичные оболочки клеточных стенок. Деструкция начинается с заболонной части древесины. Ядровая часть может сохранять свою структуру на протяжении длительного времени – до 300-400 лет.

Дереворазрушающие грибы также вносят свой вклад в разрушение археологической древесины, однако, в зависимости от условий, наблюдаются различия в скорости происходящих процессов [4].

Рисунок 3. Разрушение клеточных стенок заболонной древесины после 400 лет экспозиции в почве. Продольный срез, увел. 400.

Выводы:

1. Исследование выявило значительные изменения в структуре клеточных стенок трахеид ископаемой древесины.
2. Выявленные изменения фиксировались в заболонной древесине после 100-летней, а в ядровой - после 600-летней экспозиции в анаэробных условиях
3. Разрушение древесины вызывалось бактериями и дереворазрушающими грибами.

Благодарности.

Исследование выполнено при поддержке Российского Фонда Фундаментальных исследований (грант 15-08-01893 «Особенности разрушения деревянных конструкций в анаэробных условиях»)

Авторы признательны к.и.н. О.А. Тарабардиной (Новгородский Государственный объединенный музей-заповедник) за предоставленные образцы и их дендрохронологическую датировку.

1. Klaassen R. K.W.M. (Ed.) Final report of EU Project BACPOLES, Preserving cultural heritage by preventing bacterial decay of wood in foundation piles and archeological sites. EU number EVK4-CT2001-00043. 2005.
2. Hoffmann P., Jones M. A. Structure and Degradation Process for Waterlogged Archaeological Wood. In Archaeological wood: Properties, chemistry, and preservation, ed. R. M.Rowell and R. J.Barbour. Advances in Chemistry series 225. 1990/.Washington, D.C.: American Chemical Society. P. 35-65.
3. Fengel, D. Aging and fossilization of wood and its components. Wood Science and Technology. 1991. Vol. 25. P. 153–77.
4. Babinski L., Kùdela J., Kokoci ski W. Archaeological softwood. Part I. Structure and properties. / Wood structure and properties '02. Ed. J. Kùdela, S. Kurjatko. 2002. Arbora Publ. Zvolen, P. 73-80/
5. Кубло Э.К., Леонтьев Л.Л., Колосова М.И., Кокуца Л.В. Изучение свойств археологической древесины и проблемы консервации // Археологические вести. 2005. № 12. С. 160-171
6. Blanchette, R. A., Nilsson T., Daniel G., Abad A. Biological degradation of wood. In Archaeological wood: Properties, chemistry, and preservation, ed.R. M.Rowell and R. J.Barbour. Advances in Chemistry series 225. 1990. Washington, D.C.: American Chemical Society. P. 141–74
7. Björdal S. G. Microbial degradation of waterlogged archaeological wood // Journal of Cultural Heritage. Volume 13, Issue 3. 2012. P. S118-S122.